

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Technologie výroby ozubeného kola se šípovými zuby
Technology of Production Helical Gear

Student:

Petr Bobovský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Antonín Trefil

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr Bobovský

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Technologie výroby ozubeného kola se šípovými zuby
Technology of Production Helical Gear

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Stávající technologie výroby.
3. Návrh racionalizace výroby.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábění*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. s. 205. ISBN 80-968954-2-7.
- [6] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. s. 193. ISBN 80-968954-2-7.

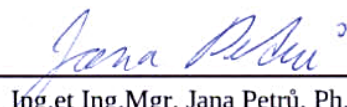
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Antonín Trefil**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



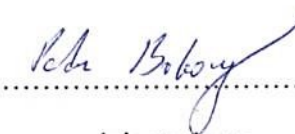

Ing.et Ing.Mgr. Jana Petru, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

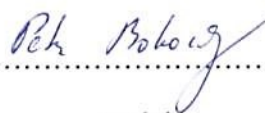
V Ostravě dne: 19. května 2014


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдоміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдоміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 19. května 2014


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Bobovský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Karola Šmidkého 1816/10

Ostrava – Poruba

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BOBOVSKÝ, P.; *Technologie výroby ozubeného kola se šípovými zuby*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 42 s. Vedoucí práce: Ing. Antonín Trefil.

Bakalářská práce se zabývá návrhem racionalizace výroby ozubeného kola se šípovými zuby. V úvodu je popsána dostupná technologie výroby. Na základě popisu stávající technologie je navržena racionalizace výroby. Mnou navržena racionalizace výroby spočívá v zakoupení zrychlovací hlavy. Navržená technologie je aplikována do výroby na současně používaném pracovišti. Použitím zrychlovací hlavy je dosaženo vyšších řezných parametrů za současného snížení výrobních nákladů. V závěru je popsáno technickoeconomické zhodnocení a výpočty. Upravená technologie je využita pro výrobu dalších ozubených kol.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BOBOVSKÝ, P.; *Technology of Production Helical Gear*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 42 s. Thesis leader: Ing. Antonín Trefil.

The bachelor thesis deals with the rationalization of production gear with swept teeth. The introduction describes the available production technology. Based on the description of the current technology is designed the rationalization of production. My proposed rationalization of production consists of buying the acceleration head. The proposed technology is applied to production on the actual used workplace. Using the acceleration head is achieved the higher cutting parameters, while the production costs are reduced. The final part includes technical and economical evaluation and calculations. Treated technology is used to production of other gears.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1. Úvod	8
1.1. Představení společnosti	9
1.2. Rozčlenění provozu VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s.	10
2. Stávající technologie výroby	11
2.1. Popis ozubeného kola	12
2.2. Stávající pracoviště	13
2.3. Řezné nástroje pro hrubování	15
2.4. Technologie před tepelným zpracováním	18
2.4.1 Hrubování zubů s přídavkem 5 mm na plochu	18
2.4.2 Opracování po tepelném zpracování	21
2.4.3 Hrubování boku zubu s přídavkem 0,2 mm na plochu	21
2.4.4 Vyhrubování paty zubu	23
2.4.5 Opracování paty zubu na výkresovou míru	24
2.4.6 Odlehčení špice zubu	24
2.4.7 Hrubování profilu zubu modulovou frézou s přídavkem 0,07 mm	25
2.4.8 Dokončení profilu zubu modulovou frézou	26
2.4.9 Hrubování rádiusů	27
3. Návrh racionalizace výroby	28
3.1 Nová technologie před tepelným zpracováním	30
3.2 Nová technologie po tepelném zpracování	31
3.3 Hrubování paty zubu	31
3.4 Opracování paty zubu na výkresovou míru	32
3.5 Odlehčení špice zubu	32
4. Technicko – ekonomické zhodnocení	33
5. Závěr	39
6. Seznam použité literatury	40
7. Seznam příloh	42

Seznam použitých zkratek

a_p	-	hloubka třísky	[mm]
D_n	-	nástroj	[mm]
f_z	-	velikost posuvu	[mm]
H	-	hloubka drážky	[mm]
i	-	počet průchodů	[-]
j	-	počet záběrů	[-]
L_{zd}	-	délka frézování	[mm]
n	-	otáčky	[min ⁻¹]
N_o	-	náklady na operaci	[Kč]
N_{tA}	-	náklady na hlavní čas jednoho zubu	[Kč]
N_{tAC}	-	náklady na výrobní čas	[Kč]
N_{tB}	-	náklady na vedlejší čas	[Kč]
P_v	-	počet výměn	[-]
t_A	-	hlavní strojní čas na jeden zub	[min]
t_{A1}	-	hlavní strojní čas pro všechny zuby	[min]
t_{AC}	-	výrobní čas	[min]
t_B	-	vedlejší čas	[min]
TZ	-	tepelné zpracování	[-]
VHM	-	Vítkovice Heavy Machinery a.s.	[-]
v_c	-	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
v_f	-	minutový posuv	[mm.min ⁻¹]
t_{Bv}	-	všechny vedlejší časy	[min]
Z	-	počet zubů	[ks]

1. Úvod

Úspěšnost firmy je v dnešní době přímo určena efektivitou a flexibilitou procesů, kterými jsou poskytovány její služby či produkty. Což vzhledem k panujícímu silnému konkurenčnímu prostředí přináší na straně výrobců nutnost pružně reagovat.

Jedním ze základních principů, kterým se prosazuje rentabilita průmyslových podniků, je zvyšování úrovně optimalizace, organizace a řízení výroby. Je to oblast, kterou se snažíme stále zdokonalovat, a taky se to daří, avšak stále jsme krok zpět v porovnání s průmyslově vyspělejšími zeměmi. Hlavním cílem organizace a řízení výroby, tedy i optimalizace výrobních procesů, je zvyšování její technickoekonomické úrovně. Patří sem využití, navrhování, zdokonalování dosavadních a realizace nových ucelených soustav výrobních procesů a jejich základních činitelů, k nimž patří pracovní síly, pracovní prostředky, pracovní předměty a další činitelé.[11]

K problematice organizace a řízení výroby počítáme studium racionalizace práce, manipulace s materiálem včetně řízení materiálového hospodářství, technologickou přípravu výroby, řízení samotného výrobního procesu spolu s evidencí výroby, řízení jakosti výrobků apod. Systémový přístup, využití moderní výpočetní techniky s modelováním organizačních i technických výrobních soustav jsou soudobými nástroji racionalizace a optimalizace výroby.

Činnost optimalizace, organizace a řízení výroby je stále důležitější, protože každý podnik je složitý sociálně-ekonomický systém s mnoha prvky, ve vzájemné interní i externí interakci a vazbami na okolní prostředí. Neodmyslitelnou součástí každé firmy a správným předpokladem k úspěchu vlastních výrobků na trhu je pochopení všech aspektů organizace a řízení výroby a osvojení si základních podmínek.

1.1. Představení společnosti

Společnost VÍTKOVICE a.s. představuje jednu z nejvýznamnějších skupin v oblasti těžkého strojírenství nejen v České republice, ale i ve střední Evropě. Značka VÍTKOVICE má dlouholetou tradici. Vznik společnosti se datuje do roku 1828. V současné době je registrovaná ve 25 státech a ve 13 třídách výrobků a služeb.

V současné době má skupina VÍTKOVICE MACHINERY GROUP a.s. více dceřiných společností, které představují základní pilíře této skupiny. Do této skupiny spadá i podnik VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s. Pro úspěch podniku v konkurenčně nabitém prostředí se stává stále více důležitá otázka struktury, plánování a řízení hmotného a příslušného informativního toku, a to jak od dodavatelů k podniku, uvnitř podniku tak i z podniku k zákazníkovi. Touto problematikou se plně zabývá oblast nazývaná obecné řízení výroby.[11]

Díky značky VÍTKOVICE se výrazně zlepšilo plánování výrobního procesu, zejména s ohledem na ekonomické principy úspory a využití zdrojů jako součást integrovaného systému řízení podniku. Je to oblast, ve které se stále přibližuje požadované průmyslové úrovni vyspělých zemí.

VÍTKOVICE MACHINERY GROUP a.s., je významná hutnicko-strojírenská společnost holdingového typu, zastřešující dceřiné společnosti, z nichž jednou je také VHM, a.s. Profil podniku se dlouho utvářel a během let 1990 – 2013 došlo k výrazným organizačním a personálním změnám s cílem změnit dosavadní stereotypy a nasměrovat vývoj k tržní ekonomice. Došlo k vyčlenění činností, které přímo nesouvisely s výrobou. Řada dceřiných společností přešla do vlastnictví nových majitelů, což se projevilo na změně výrobního programu společnosti. Konkrétním důkazem je získaná ekonomická stabilita, přístup a otevřenost k novým technologiím, prestižní ocenění vítkovických výrobků a reference náročných, ambiciózních projektů.

V rámci transparentního označení jednoznačné příslušnosti ke skupině VÍTKOVICE, podpory značky a cíleného oslovení klientů změnila společnost od 1. 6. 2005 název na VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., jako samostatná dceřiná společnost pro výrobu velkých strojírenských součástí a modernizaci technologií v rámci mateřské společnosti, ale i s cílem lépe využít nemalý potenciál kvalifikovaných zaměstnanců.

1.2. Rozčlenění provozu VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s.

- **Ocelárna** – metalurgická základna sloužící především pro výrobu produktů využitých následně ve strojírenské výrobě. [12]
- **Kovárna** – sloužící zejména k zabezpečení kovaných polotovarů pro vlastní využití v oblasti strojírenské výroby a zajištění tepelného zpracování produkce. Kovárna je vybavena 5 lisy o síle 120 MN, 60 MN a 1,6 MN. Kovářské agregáty jsou umístěny ve dvou teritoriích (ve Vítkovicích – menší lisy a v Kunčicích – lis 120 MN).[12]
- **Slévárna** – sloužící v převážné míře k zabezpečení rozměrných odlitků pro zpracování ve vlastních strojírenských kapacitách.[12]
- **Těžká mechanika** – zabezpečující potřebné obráběcí kapacity pro strojírenskou produkci. Těžká mechanika je vybavena řadou unikátních obráběcích strojů, které umožňují vyrábět špičkové výrobky z oblasti těžkého strojírenství, jako jsou například zalomené hřídele pomaluběžných dvoutaktních lodních motorů s hmotností přesahující 100 tun, hřídele velkých větrných elektráren, stojany válcovacích tratí aj.[12]

2. Stávající technologie výroby

Výroba ozubených kol je zvláštní odvětví strojírenské výroby, které klade velké požadavky na kvalifikaci všech pracovníků v tomto oboru a vyžaduje od nich nejen praktické, ale i teoretické znalosti.

Rozdělení výroby ozubených kol:

Podle tvoření jejich boků

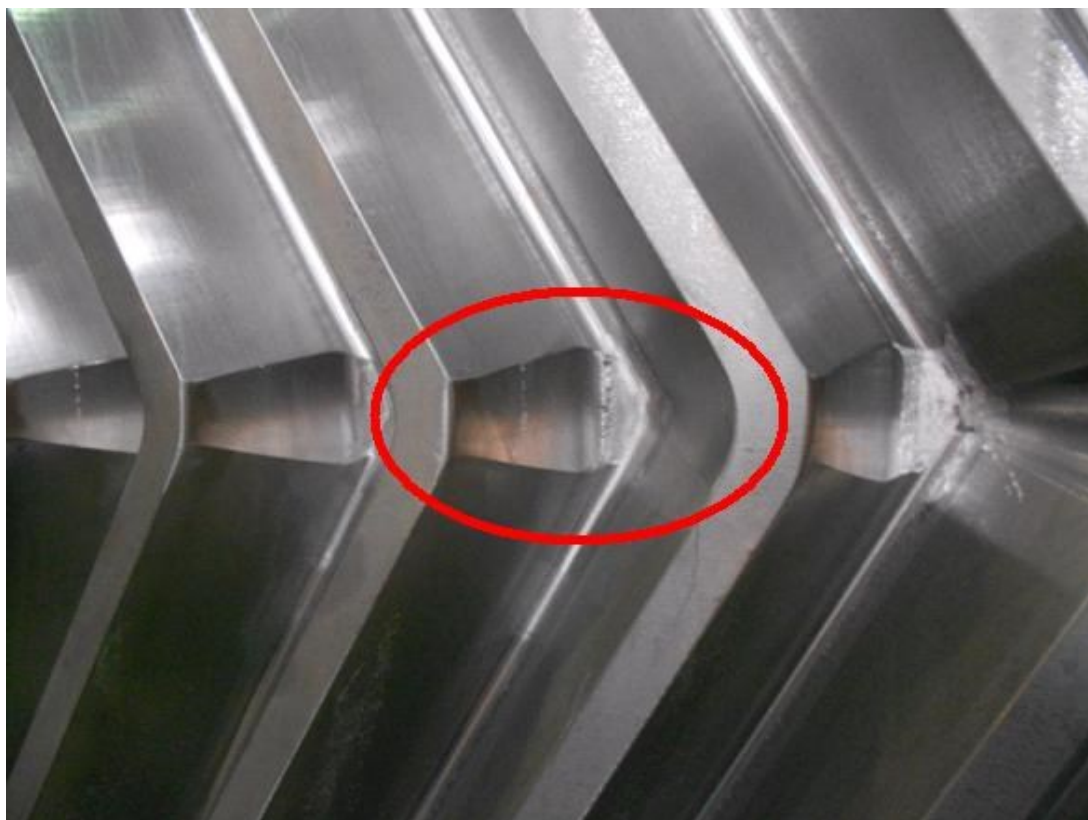
- a) Metoda tvarová
- b) Metoda kopírovací
- c) Metoda odvalovací

Podle dělení obráběného kola

- a) Metoda dělicí
- b) Metoda plynulá
- c) Metoda přerušovaná

Stručný popis výroby šípového ozubení běžný způsobem

Je to způsob tvarový, kdy nástroj „čepová fréza“ má profil zubové mezery v normálním řezu zubem kola. Frézování špičky zubu je obtížné, neboť mohou nastat případy, kdy jeden bok zubu u špičky vyjde zaoblený a druhý ostrý. Proto je nutno buď oblou část ručně zašpičatit, nebo ostrou zaoblit, (viz obrázek č. 1). Tento ruční zásah do tvaru zubu způsobí nepřesnosti, a proto se někdy odfrézováním zašpičatění vyřazuje špička zubu z činnosti. Obrobek je upnut na trnu a vykonává otáčivý pohyb do poloviny v jednom a od poloviny v druhém smyslu, nástroj se pohybuje podél osy obrobku. Všechny pohyby jsou rovnoměrné. Osa nástroje musí protínat osu obráběného kola. [1]



Obrázek č. 1 – odlehčení špice zubu

2.1. Popis ozubeného kola

Základní rozměry a hmotnost ozubeného kola

materiál	-	GS-34CrMo4
hmotnost	-	49 300 kg
hlavová kružnice	-	$\varnothing 5268,4 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,8 \end{smallmatrix}$ mm
patní kružnice	-	$\varnothing 5137,818 \begin{smallmatrix} -0,907 \\ -1,456 \end{smallmatrix}$ mm
počet zubů	-	144
modul	-	35,6237818 mm
šířka kola	-	700 mm

Zjednodušený náčrt ozubeného kola. (příloha č. 1)

Ostatní rozměry ozubeného kola jsou v tabulce. (příloha č. 2)

2.2. Stávající pracoviště

Pracoviště pro frézování je vybráno s ohledem na velikost ozubeného kola a jeho požadované přesnosti. Zvolený stroj horizontální vyvrtávačka je W 200 HB-NC s řídicím systémem HEIDENHAIN a s řízeným NC stolem (S80A). Otočný stůl je možno zatížit 60 000 kg. Horizontální vyvrtávačka W 200 HB-NC s upnutým ozubeným kolem, (viz obrázek č. 2). Technické parametry jsou uvedeny v tabulkách č. 1 a č. 2.



Obrázek č. 2 – horizontální vyvrtávačka s upnutým ozubeným kolem

Tabulka č. 1 – hlavní technické parametry stroje W 200 HB-NC [2]

Hlavní údaje stroje	W 200 HB-NC
Průměr vřetena	200 mm
Upínací kužel ve vřetenu	ISO 60
Rozměr pinoly (š x v)	520x520 mm
Max. krouticí moment na vřetenu	8 800 Nm
Zvýšený M_k při pr.příruby 190 mm	15 700 Nm
Max. krouticí moment na fréz. vřetenu	35 000 Nm
Otáčky vřetena plynule v rozsahu	0,8÷820 min ⁻¹
Posuvy vřetena s pinoly	1÷3 000 mm. mm ⁻¹
Posuv vřeteníku	1÷6 000 mm. mm ⁻¹
Posuv stojanu	1÷5 000 mm. mm ⁻¹
Rychloposuvy vřetena a pinoly	3 000 mm.mm ⁻¹

Tabulka č. 2 – technické parametry otočného stolu S80A [2]

Rozměry upínací desky	4 000x4 000 mm
Výška stolu od základny k upínací ploše	1 430 mm
Výška stolu nad podlahou dílny	570 mm
Délka základního lože	6 000 mm
Šířka vedení	2 600 mm
Pojezd stolu po základním loži	2 000 mm
Nosnost stolu	60 000 kg

Stroj je vybrán s ohledem na přesnost polohování B osy. U stroje byly provedeny zkoušky, na synchronizaci pohybů stroje a otočného stolu. Popis a průběh provedených zkoušek synchronizace stolu je popsán níže.

Zkoušky synchronizace posuvu

Na frézovací stůl byl upnut hranol totožného materiálového složení jako ozubené kolo, o rozměru d1000 x h700 x š5000. Frézování probíhalo v řízeném CNC programu dle výsledné kontury zubové mezery s evolventním profilem, bez zapojení B – osy otáčení polohovacího stolu. Zakřivení patní kružnice bylo dosaženo řízením CNC programu. Zpracování řídicího programu proběhlo v CAM systému NX 8,5. Tvar evolventy byl ve zkušebním kusu vyfrézován nástroji, které jsou popsány v kapitole 2.3.

Vyhodnocení zkoušky

Bylo dosaženo synchronizace pohybů, pohyb po šikmé ploše byl bez závad, ve špici zubu při změně směru pohybu os docházelo k malým časovým prodlevám a nepravidelným záběrům (krokování).

Stroj byl vybrán pro výrobu ozubeného kola a je schopen splnit náročné požadavky na jeho výrobu.

2.3. Řezné nástroje pro hrubování

Pro hrubování šípových zubů byl použit a odzkoušen nástroj firmy ISCAR (viz obrázek č. 3) a vybrané břitové destičky viz (obrázek č. 4). Pro frézování paty zubu byla použita kopírovací fréza firmy Hitachi, viz (obrázek č. 5) s vyměnitelnými břitovými destičkami (viz obrázek č. 6). Modulové frézy na hrubovací a dokončovací operace byly dodány zákazníkem.

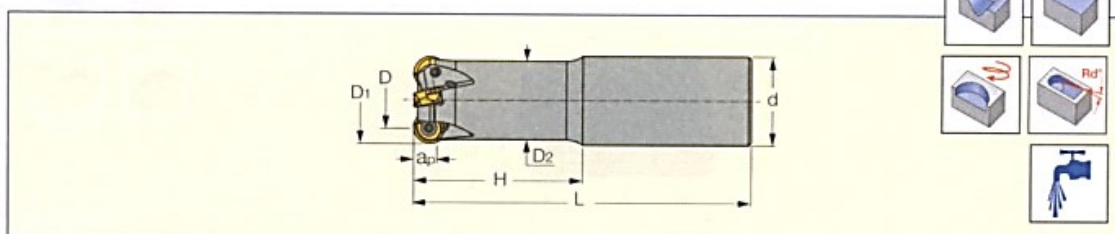
ISCAR H400 ER D32-5-060-C32-10

průměr $D = 32\text{mm}$

počet zubů $z = 5$

H400 ER-10

Stopkové frézy s oboustrannými destičkami se 4 řeznými hranami s rádiusem 5 mm



Označení	D ₁	D	D ₂	Břítů	a _p	H	L	d	Stopka ⁽¹⁾	Ra°	Kg	Destičky
H400 ER D20-2-060-C20-10	20.0	10.00	17.50	2	7.50	60.0	160.00	20.00	C	-	0.33	H400 RNHU 1004
H400 ER D25-3-060-C25-10	25.0	15.00	21.60	3	7.50	60.0	120.00	25.00	C	5.8	0.35	H400 RNHU 1004
H400 ER D32-5-060-C32-10	32.0	22.00	29.60	5	7.50	60.0	120.00	32.00	C	3.8	0.59	H400 RNHU 1004

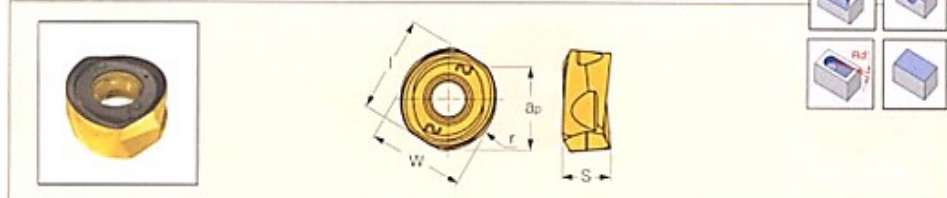
⁽¹⁾ C-válcová

Obrázek č. 3 – fréza firmy ISCAR [13]

doporučené břitové destičky **H400 RNHU 1606 – AX**

H400 RNHU

Oboustranné destičky se 4 řeznými hranami s rádiusem 5, 6 a 8 mm pro tvarové frézování



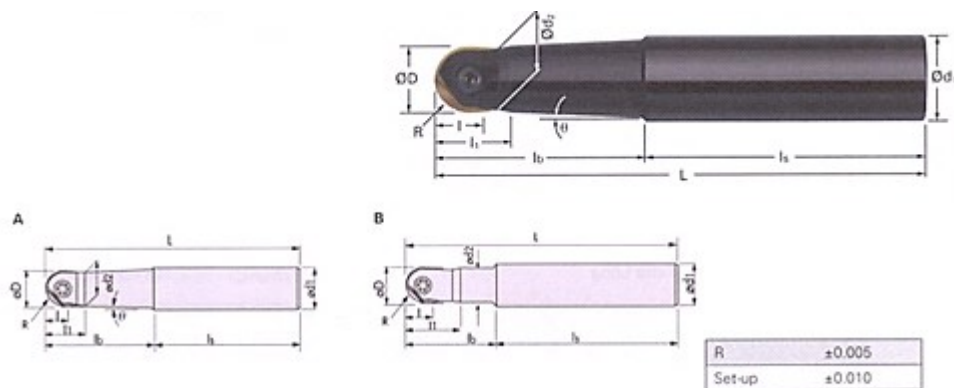
Označení	Rozměry					Houževnatý → Tvrdý			Doporučené řezné podmínky	
	r	l	W	a _p	S	IC330	IC330	IC808	a _p (mm)	f _z (mm/zub)
H400 RNHU 1004-AX	5.00	9.20	9.30	7.50	4.70		●	●	1.00-5.00	0.10-0.30
H400 RNHU 1004-HP	5.00	9.20	9.30	7.50	4.05		●		1.00-5.00	0.10-0.30
H400 RNHU 1004-ML	5.00	9.20	9.30	7.50	4.05		●	●	1.00-5.00	0.10-0.30
H400 RNHU 1205-AX	6.00	11.00	11.20	8.70	5.20		●	●	2.00-6.00	0.15-0.30
H400 RNHU 1205-HP	6.00	11.00	11.20	8.70	4.75	●	●		2.00-6.00	0.15-0.30
H400 RNHU 1205-ML	6.00	11.00	11.20	8.70	4.75		●	●	2.00-6.00	0.15-0.30
H400 RNHU 1606-AX	8.00	14.70	13.90	12.00	7.80		●	●	3.00-8.00	0.15-0.40

Obrázek č. 4 – vyměnitelné břitové destičky [13; 18]

Kopírovací fréza Hitachi ABPF – 25S32

Průměr $D = 25$

Počet břitů $z = 2$



ID Code	Item No.	Stock Flutes	OD	R	L	l1	l2	l3	l4	θ	Od1	Od2	Type	Inserts x1
FH 387	ABPF-08S12	■	8	4	100	4.4	10	22	78	9.5°	12	7.5	A	ZPFG080
FH 388	ABPF-10S12	■	10	5	100	5.5	13	25	75	5°	12	9.5	A	ZPFG100
FH 389	ABPF-12S12	■	12	6	110	6.6	15	30	80		12	11.5	B	ZPFG120
FH 447	ABPF-16S20	■	16	8	130	8.8	19	50	80	2.5°	20	15.5	A	ZPFG160
FH 448	ABPF-20S25	■	20	10	140	11	22	60	80	2.5°	25	19.5	A	ZPFG200
FH 449	ABPF-25S32	■	25	12.5	150	13.7	25	70	80	3°	32	24.5	A	ZPFG250

Obrázek č. 5 – kopírovací nástroj firmy Hitachi [14]

Doporučená břitová destička **ZPFG 250 PCA 12 M**



ID Code	Item No.	Grade	C-Coated										G-Coated				R	l(A)	T	W(B)
			CY10M	CY10	CY20	CY20V	CY20S	PCA08M	PCA10M	PCA12M	PCA15M	PCA18M	GP3	HCM4						
WF 504	ZPFG-080	PCA08M						■									4	9.7	2.1	8
WF 547	ZPFG-080	PCA12M							■								4	9.7	2.1	8
WF 595	ZPFG-100	PCA08M						■									5	12.1	2.7	10
WF 548	ZPFG-100	PCA12M							■								5	12.1	2.7	10
WF 596	ZPFG-120	PCA08M						■									6	14.6	3.2	12
WF 549	ZPFG-120	PCA12M							■								6	14.6	3.2	12
WF 597	ZPFG-160	PCA08M						■									8	16.6	4.2	16
WF 598	ZPFG-160	PCA12M							■								8	16.6	4.2	16
WF 599	ZPFG-200	PCA08M						■									10	20.3	5.2	20
WF 600	ZPFG-200	PCA12M							■								10	20.3	5.2	20
WF 601	ZPFG-250	PCA08M						■									12.5	24.1	6.2	25
WF 602	ZPFG-250	PCA12M							■								12.5	24.1	6.2	25

Obrázek č. 6 – břitové destičky pro kopírovací frézu [14; 18]

Při návrhu řezného nástroje jsem vycházel z katalogu tuzemských a zahraničních firem.

2.4. Technologie před tepelným zpracováním

Tepelné zpracování se provádí z důvodu odstranění materiálového pnutí. Přídavek 5 mm na plochu je volen s ohledem na případné deformace během tepelného zpracování.

2.4.1. Hrubování zubů s přídavkem 5 mm na plochu

Ozubené kolo bylo upnuto na otočný stůl a vycentrováno na střed. U soustružnické operace byly zhotoveny na hlavové kružnici středící pásy v šířce 30 mm, pro usnadnění centrování. Technologický postup spočívá ve vyhrubování zubů před tepelným zpracováním, s přídavkem 5 mm na plochu do hloubky 42 mm, dno zůstává rovné (viz obrázek č. 7). V této operaci se nebude používat polohování B - osy, zuby se budou frézovat rovně na 3 průchody.

Rámcový technologický postup frézovací operace před TZ

operace	pracoviště	normo hodiny	popis operace
090	13	324,67	<p>Obrobitelnost 12B</p> <p>1.</p> <p>A) Hrubovat plochy rozměr 410 mm(8x) s přídavkem 7 mm na plochu</p> <p>B) V místech otvoru M90x6 vrtat otvory a řezat závit M64-6H (3x)</p> <p>2.</p> <p>A) Hrubovat a hotově opracovat vybrání D4600/D4960 včetně radiusů R50 a R60 viz nárys a řez "A-A" Neprofrézovat nálitky pro závity M90x6 (3) viz řez "E-E"</p> <p>B) V místech otvoru M90x6 vrtat otvory a řezat závity M64-6H (3)</p> <p>3.</p> <p>A) Hrubovat šípové ozubení rovně s přídavkem 5 mm na plochu do hloubky 42 mm (144)</p>

Hrubování je provedeno frézou od firmy ISCAR. Při frézování jsme nedosáhli výrobcem doporučených řezných parametrů, z důvodu malých otáček vřetene. Použité řezné parametry a parametry udávané výrobcem jsou uvedeny v tabulce č. 3. Na daném stroji není možné dosáhnout parametrů udávaných výrobcem. Níže uvádím výpočet řezné rychlosti na základě maximálního možného počtu otáček vřetene a následně výpočet minutového posuvu.[4; 5]

Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow \frac{3,14159 \cdot 32 \cdot 816}{1000} \quad (2.1)$$

$$v_c = \underline{\underline{82,03 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}}}$$

Výpočet minutového posuvu

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \Rightarrow 0,22 \cdot 5 \cdot 816 \quad (2.2)$$

$$v_f = \underline{\underline{897,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}}}$$

v_c	-	řezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_f	-	minutový posuv	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
D	-	průměr nástroje	$[\text{mm}]$
n	-	otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
f_z	-	posuv na zub	$[\text{mm}]$
z	-	počet zubů	$[\text{ks}]$
π	-	Ludolfovo číslo (3,14159265)	

Tabulka č. 3 – řezné parametry pro hrubovací operace

NÁSTROJ	Firma	ISCAR			
	Číslo nástroje	H400 ER D32-5-060-C32-10			
	Označení / (počet zubů)	5			
	VBD (označení)	H400 RNHU1606 - AX			
	Jakost SK				
		Použité		Doporučené výrobcem	
PRACOVNÍ PODMÍNKY	Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	82		140	
	Otáčky [min^{-1}]	816		1 300	
	Posuv za minutu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	898			
	Posuv na zub [mm]	0,22			
	Hloubka řezu [mm]	3			
	počet záběrů	3			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	42			

Uvedené parametry byly vyzkoušeny na zkušebním kusu před výrobou ozubeného kola. Průběh zkoušky je uveden v kapitole 2.2.



Obrázek č. 7 – vyhrubované ozubené kolo po TZ

2.4.2 Opracování po tepelném zpracování

Po tepelném zpracování následují znovu operace hrubování a opracování tvaru zubu na výkresový rozměr.

2.4.3 Hrubování boku zubu s přídavkem 0,2 mm na plochu

Upnutí bude probíhat obdobně jako v předchozí operaci při hrubování 5 mm na plochu, pouze s jedním rozdílem, že hlavová kružnice bude z karuselu zhotovena na výkresový rozměr. Podle tohoto rozměru budeme schopni přesně vycentrovat ozubené kolo na střed otočného stolu.

Technologie po tepelném zpracování se skládá z více operačních úkonů, které jsou níže popsány.

Rozdělení operačních úkonů

- hrubování boku zubu s přídavkem 0,2 mm na plochu do hloubky 53 mm
- hrubování paty zubu R 12,4 s přídavkem 0,2 mm na plochu
- hotovní opracování paty zubu R 12,4 na rozměr patní kružnice
- odlehčení špice zubu
- frézování celého zubu modulovou frézou – polohrubovací s přídavkem 0,2 mm na plochu
- frézování celého zubu modulovou frézou – na míry dle výkresu
- vyhrubování R 6,6 s přídavkem 0,3 mm na plochu

Rámcový technologický postup frézovací operace po TZ

operace	pracoviště	normo hodiny	popis operace
150	13	621	<p>Obrobitelnost 12B</p> <p>Frézovat</p> <p>1.</p> <p>A) Šípové ozubení hrubovat s přídavkem 0,15 – 0,2 mm na plochu do hloubky 53 mm</p> <p>B) Dno zubové mezery hrubovat s přídavkem 0,2 mm na plochu</p> <p>C) Hotově opracovat dno zubové mezery v toleranci 0-(-0,5) mm</p> <p>D) Hotově opracovat odlehčení zlomu zubu</p> <p>2.</p> <p>A) Boky zubů opracovat s přídavkem 0,07 mm na plochu</p> <p>B) Hotově opracovat boky zubů modulovou frézou (144)</p> <p>Úhlovou hlavou</p> <p>C) Hotově opracovat radiusy R6,6 viz pohled “X”</p>

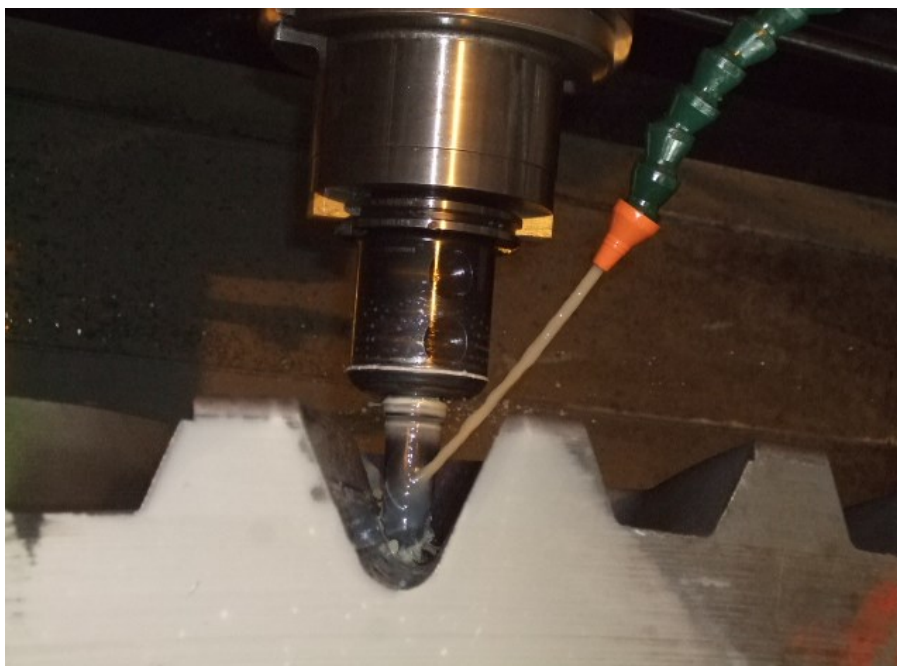
Rámcový postup obsahuje všechny operace po jakostním tepelném zpracování. Řezné parametry jsou stejné, jako v předchozí operaci (viz tabulka č. 3). Rozdíl mezi těmito operacemi bude pouze v hloubce třísky ($a_p = 2\text{mm}$) a v počtu průchodů ($i - 2$).

2.4.4 Vyhrubování paty zubu

Následná fáze technologie výroby je hrubování paty zubu s přídavkem 0,2 mm na plochu, (viz obrázek č. 8). Pro tuto operaci je použita kopírovací fréza od firmy Hitachi. Kopírovací frézou také nedosáhneme doporučených řezných parametrů výrobce, jako u předchozí operace. Použité řezné parametry pro kopírovací frézu včetně doporučených výrobcem uvádím v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4 – řezné parametry pro kopírovací frézu

NÁSTROJ	Firma	Hitachi			
	Číslo nástroje	ABPF – 25s32			
	Označení / (počet zubů)	2			
	VBD (označení)	ZPFG 250 PCA 12 M			
	Jakost SK	WF - 602			
PRACOVNÍ PODMÍNKY		Použité		Doporučené výrobcem	
	Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	58		125	
	Otáčky [min^{-1}]	738		1 510	
	Posuv za minutu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	295			
	Posuv na zub [mm]	0,2			
	Hloubka řezu [mm]	2			
	počet záběrů	2			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	13,2			



Obrázek č. 8 - frézování paty zubu kopírovací frézou firmy Hitachi

2.4.5 Opracování paty zubu na výkresovou míru

Při frézování paty zubu na výkresovou míru bude provedeno tzv. „podpíchnutí“ (odlehčení) v rozmezí 0 – 0,05 mm. Odlehčení je provedeno z důvodu ustavení nástroje vůči zubu. Operace byla provedena totožnou kopírovací frézou jako u předchozí operace. Řezné parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4. Pro dosažení požadované drsnosti opracovaného povrchu je změněna hloubka třísky (a_p) a posuv na zub (f_z).

2.4.6 Odlehčení špice zubu

Odlehčení špice zubu bude provedeno z důvodu, že je nutno buď oblou část ručně zašpičatit, nebo ostrou zaoblit (viz obrázek č. 1). Tento ruční zásah do tvaru zubu způsobí nepřesnosti, a proto se někdy odfrézováním zašpičatění vyřazuje špička zubu z činnosti. Operace je provedena stejným nástrojem jako předchozí dvě, kopírovací frézou od firmy Hitachi. Řezné parametry uvádím v tabulce č. 5.[1]

Tabulka č. 5 – řezné parametry pro kopírovací frézu při frézování špice zubu

NÁSTROJ	Firma	Hitachi			
	Číslo nástroje	ABPF – 25s32			
	Označení / (počet zubů)	2			
	VBD (označení)	ZPFG 250 PCA 12 M			
	Jakost SK	WF - 602			
PRACOVNÍ PODMÍNKY		Použité		Doporučené výrobcem	
	Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	58		125	
	Otáčky [min^{-1}]	738		1 510	
	Posuv za minutu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	148			
	Posuv na zub [mm]	0,1			
	Hloubka řezu [mm]	2			
	počet záběrů	14			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	66,2			

2.4.7 Hrubování profilu zubu modulovou frézou s přídavkem 0,07 mm

Při této frézovací operaci bude poprvé zapojena také B – osa polohovacího stolu. Použita bude hrubovací modulová fréza dodaná zákazníkem (viz obrázek č. 9). Řezné parametry pro modulovou frézu doporučené zákazníkem uvádím v tabulce č. 6.



Obrázek č. 9 – modulová fréza pro hrubovací operace

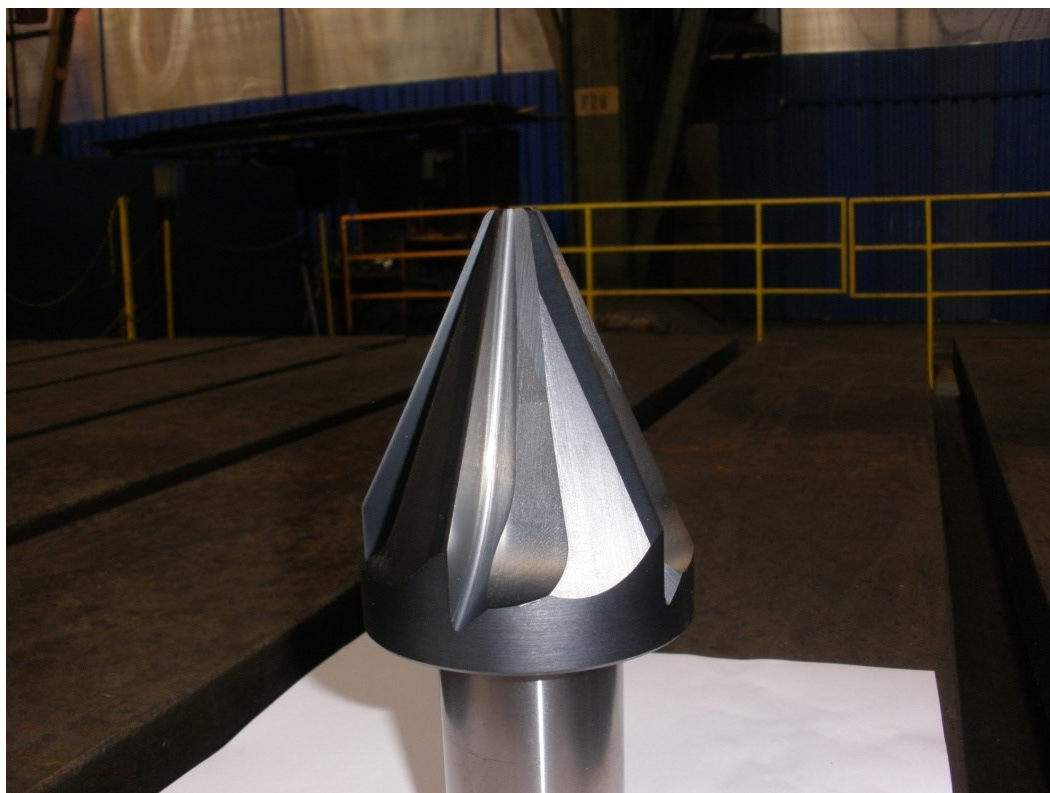
Tabulka č. 6 – řezné parametry pro hrubovací modulovou frézu

NÁSTROJ	Firma	Dodáno zákazníkem			
	Označení / (počet zubů)	4			
	VBD (označení)				
	Jakost SK				
PRACOVNÍ PODMÍNKY	Řezná rychlost [m. min^{-1}]	10			
	Otáčky [min^{-1}]	42			
	Posuv za minutu [mm. min^{-1}]	34			
	Posuv na zub [mm]	0,1			
	Hloubka řezu [mm]	66,2			
	počet záběrů	1			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	66,2			

Pro kontrolní operace bude pořízen digitální zuboměr, pro přesné změření evolventy. Měřená šířka v konstantní hloubce je předepsána v tabulce pro výrobu ozubeného kola (viz příloha č. 2).

2.4.8 Dokončení profilu zubu modulovou frézou

Pro dokončující operaci opracování zubové mezery je navržen obdobný postup. Rozdíl je v použitém nástroji. Zde je použita modulová fréza dokončovací a změnou řezných parametrů dosáhneme požadované drsnosti opracovaných ploch. Modulová fréza pro dokončovací operaci (viz obrázek č. 10). Řezné parametry pro dokončovací operaci uvádím v tabulce č. 7.



Obrázek č. 10 – modulová fréza pro konečné opracování

Tabulka č. 7 – řezné parametry pro dokončovací operaci modulovou frézou

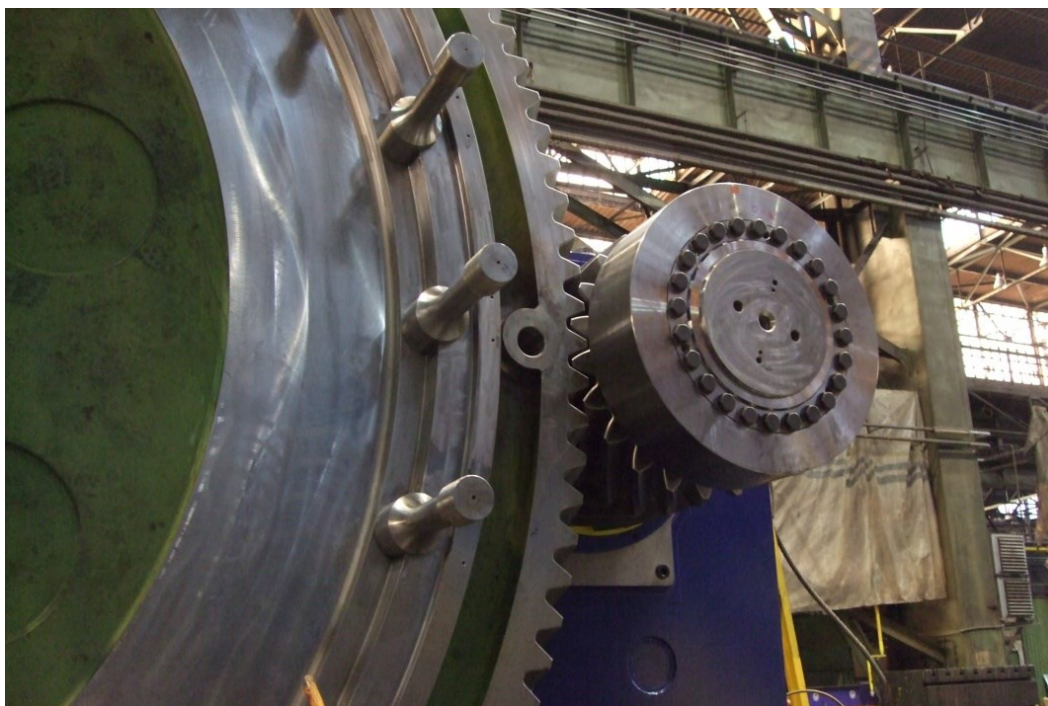
NÁSTROJ	Firma	Dodáno zákazníkem			
	Označení / (počet zubů)	4			
	VBD (označení)				
	Jakost SK				
PRACOVNÍ PODMÍNKY	Řezná rychlost [m. min^{-1}]	14			
	Otáčky [min^{-1}]	59			
	Posuv za minutu [mm. min^{-1}]	23			
	Posuv na zub [mm]	0,05			
	Hloubka řezu [mm]	66,2			
	počet záběrů	1			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	66,2			

Na obrázku č. 9 a č. 10 je možno vidět patrné rozdíly mezi hrubovací a dokončovací modulovou frézou.

2.4.9 Hrubování rádiusů

Pro operaci je nutné použít vřetenovou hlavu, protože rádiusy jsou po obou čelních stranách zubu. Hrubování rádiusů se provádí s přídatkem 0,3 mm na plochu. Operace se provede kopírovacím nástrojem od firmy Hitachi. Řezné parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Po dokončení strojního opracování a dočištění zámečnický je prováděna konečná kontrola a přejímka. Následovně je ozubené kolo na montáži smontováno s pastorkem a protočeno kolem své osy (viz obrázek č. 11). Zkouška se provádí z důvodu ověření funkčnosti celé sestavy.



Obrázek č. 11 – sestava ozubeného kola s pastorkem

3. Návrh racionalizace výroby

Ze stávající technologie výroby ozubeného kola je patrné, že při hrubovacích operacích nejsme schopni dosáhnout řezných parametrů nástroje udávaných výrobcem. Nízké řezné parametry jsou zapříčiněny možnostmi použitého stroje. Parametry používaného stroje jsou uvedeny v kapitole 2.2 a v tabulce č. 1 a č. 2. Racionalizací výroby – použitím zrychlovací hlavy (viz obrázek č. 12) bude možné na stávajícím strojním zařízení dosáhnout řezných parametrů uváděných výrobcí nástrojů. Technologie výroby šípového ozubení se nezmění a technologický postup zůstane zachován, jak je uvedeno v kapitole 2.4. [3]

Zrychlovací hlava

Jedná se o typ FX300-04-5310B fa. PIBOMULTI s převodem 1:4. Zrychlovací hlava je konstrukčně řešena pro upnutí přímo na pinolu stroje s převodem krouticího momentu z vřetene přes upínací kužel ISO 60. Technický výkres zrychlovací hlavy a příruby pro upnutí (viz příloha č. 3 a č. 4).

Technické parametry zvoleného typu zrychlovací hlavy FX300-04-5310B uvádím v tabulce č. 8.

Upnutí zrychlovací hlavy na vřeteno (pinolu) stroje je uvedeno na obrázku č. 13.



Obrázek č. 12 – zrychlovací hlava fa. PIBOMULTI

Tabulka č. 8 – hlavní technické parametry zrychlovací hlavy [15]

Hlavní údaje zrychlovací hlavy	FX300-04-5310B
Převod	1:4
Upínací kužel ve vřetenu	ISO 50
Otáčky vřetene	50÷6000 min ⁻¹
Max. výkon na vřetenu	20 KW
Krátkodobé max. otáčky vřetene	8000 min ⁻¹



Obrázek č. 13 – zrychlovací hlava upnuta na vřeteno

3.1 Nová technologie před tepelným zpracováním

Pomocí navržené zrychlovací hlavy dosáhneme u obráběcích nástrojů řezných parametrů předepsaných výrobcem. Řezné nástroje zůstanou nezměněny – jedná se o nástroje uvedené v kapitole 2.3. Řezné parametry dosažené při použití zrychlovací hlavy v hrubovací operaci uvádím v tabulce č. 9.[6; 7]

Tabulka č. 9 – řezné parametry pro hrubovací operaci se zrychlovací hlavou

NÁSTROJ	Firma	ISCAR			
	Číslo nástroje	H400 ER D32-5-060-C32-10			
	Označení / (počet zubů)	5			
	VBD (označení)	H400 RNHU1606 - AX			
	Jakost SK				
PRACOVNÍ PODMÍNKY		Použité		Doporučené výrobcem	
	Řezná rychlost [m. min^{-1}]	135		140	
	Otáčky [min^{-1}]	1 228		1 300	
	Posuv za minutu [mm. min^{-1}]	1 228			
	Posuv na zub [mm]	0,22			
	Hloubka řezu [mm]	3			
	počet záběrů	3			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	42			

Z tabulky č. 9 je patrná výhoda požití, kde pomocí zrychlovací hlavy došlo k navýšení řezné rychlosti a rychlosti posuvu.

3.2 Nová technologie po tepelném zpracování

Při hrubování boku zubu na 0,2 mm na plochu bude dosaženo přibližně stejných řezných parametrů jako v předchozí operaci, kde bude použita zrychlovací hlava. Řezné parametry uvádím v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10 – řezné parametry pro hrubovací operace se zrychlovací hlavou

NÁSTROJ	Firma	ISCAR			
	Číslo nástroje	H400 ER D32-5-060-C32-10			
	Označení / (počet zubů)	5			
	VBD (označení)	H400 RNHU1606 - AX			
	Jakost SK				
		Použité		Doporučené výrobcem	
PRACOVNÍ PODMÍNKY	Řezná rychlost [m. min^{-1}]	140		140	
	Otáčky [min^{-1}]	1 273		1 300	
	Posuv za minutu [mm. min^{-1}]	1910			
	Posuv na zub [mm]	0,3			
	Hloubka řezu [mm]	2			
	počet záběrů	2			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	53			

3.3 Hrubování paty zubu

Pro operaci bude také použit stejný nástroj - kopírovací fréza od firmy Hitachi. Při použití zrychlovací hlavy jsme u nástroje dosáhli požadovaných řezných parametrů, viz (tabulka č. 11).

Tabulka č. 11 – řezné parametry pro kopírovací frézu při použití zrychlovací hlavy

NÁSTROJ	Firma	Hitachi			
	Číslo nástroje	ABPF – 25s32			
	Označení / (počet zubů)	2			
	VBD (označení)	ZPFG 250 PCA 12 M			
	Jakost SK	WF - 602			
		Použité		Doporučené výrobcem	
PRACOVNÍ PODMÍNKY	Řezná rychlost [m. min^{-1}]	120		125	
	Otáčky [min^{-1}]	1 528		1 510	
	Posuv za minutu [mm. min^{-1}]	611			
	Posuv na zub [mm]	0,2			
	Hloubka řezu [mm]	2			
	počet záběrů	2			
	Délka obrábění [mm]	870			
	Hl. zapichování [mm]	13,2			

3.4 Opracování paty zubu na výkresovou míru

Při této operaci bude také dosaženo stejných řezných parametrů jako v předchozím případě, kde byla použita zrychlovací hlava, viz (tabulka č. 11). Nepatrný rozdíl bude pouze v posuvu na zub a v posuvu za minutu.

3.5 Odlehčení špice zubu

Technologie bude stejná jako bez použití zrychlovací hlavy, jenom se navýší řezná rychlost a dojde ke značné úspoře času a finančních nákladů. Řezné parametry viz (tabulka č. 11). V ostatních operacích nebude použito zrychlovací hlavy.

4. Technicko – ekonomické zhodnocení

Tato kapitola je zaměřena na porovnání a vyhodnocení stávající technologie výroby na stroji W 200 HB-NC před a s použitím mnou navržené zrychlovací hlavy FX300-04-5310B.

Technologické pracoviště určené k výrobě ozubeného kola je dostačující. Nástroje určené k výrobě splnily řezné parametry udávané výrobcí. Pro ekonomické zhodnocení bude počítáno s náklady na výrobu 1 kusu ozubeného kola a s pořizovacími náklady na zrychlovací hlavu. Návratnost bude stanovena k počtu ozubených kol.

Výrobní náklady na stroji W 200 HB-NC jsou počítány s režijní sazbou 1 300 Kč/hod. Režijní sazbu jsem volil s ohledem na velikost a přesnost stroje.

Pořizovací cena zrychlovací hlavy

Cena bez DPH - 978 012 Kč

Cena s DPH - 1 173 615 Kč

Výpočet záběrů

$$j = \frac{H}{a_p} \cdot i \Rightarrow \frac{42}{3} \cdot 3 \quad (4.1)$$

$$j = \underline{42}$$

Opracování 1 zubu

$$t_A = \frac{L_{zd}}{v_f} \cdot j \Rightarrow \frac{870}{898} \cdot 42 \quad (4.2)$$

$$t_A = \underline{40,69 \text{ min}}$$

Opracování všech zubů

$$t_{A1} = t_A \cdot 144 \Rightarrow 41 \cdot 144 \quad (4.3)$$

$$t_{A1} = \underline{\underline{5\,904\text{ min}}}$$

Výpočet vedlejšího času

$$t_B = P_v + 2 \cdot t_{Bv} \Rightarrow (80 + 2) \cdot 23 \quad (4.4)$$

$$t_B = \underline{\underline{1\,886\text{ min}}}$$

Výpočet výrobního času

$$t_{AC} = t_{A1} + t_B \Rightarrow 5\,904 + 1886 \quad (4.5)$$

$$t_{AC} = \underline{\underline{7\,790\text{ min}}}$$

a_p	-	hloubka třísky	[mm]
H	-	hloubka drážky	[mm]
i	-	počet průchodů	[-]
j	-	počet záběrů	[-]
L_{zd}	-	délka frézování	[-]
t_A	-	času na 1 zub	[min]
t_{A1}	-	času pro všechny zuby	[min]
t_B	-	vedlejší čas	[min]
t_{Bv}	-	všechny vedlejší časy	[min]
t_{AC}	-	výrobní čas	[min]
P_v	-	počet výměn	[-]
v_f	-	minutový posuv	[mm.min ⁻¹]

Porovnání pracovních a výrobních nákladů při hrubování 5 mm na plochu před tepelným zpracováním jsou uvedeny v tabulce č. 12 a 13.

Tabulka č. 12 – porovnání výrobních časů

	Stávající technologie	Navržená technologie
t_A	41 min	36 min
t_{A1}	5 904 min	5 184 min
t_B	1 886 min	873 min
t_{AC}	7 790 min	6 057 min
rozdíl	1733 min	

Výrobní časy jsou s použitím zrychlovací hlavy sníženy o 1 733 min, jak je uvedeno v tabulce č. 12.

Náklady na strojní opracování

$$Nt_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot 1\,300 \Rightarrow \frac{5\,904}{60} \cdot 1\,300 \quad (4.6)$$

$$Nt_A = \underline{\underline{127\,920 \text{ Kč}}}$$

Náklady na vedlejší časy

$$Nt_B = \frac{t_B}{60} \cdot 1\,300 \Rightarrow \frac{1\,886}{60} \cdot 1\,300 \quad (4.7)$$

$$Nt_B = \underline{\underline{40\,863,33333 \text{ Kč}}}$$

Celkové náklady

$$Nt_{AC} = Nt_A + Nt_B \Rightarrow 127\,920 + 40\,863 \quad (4.8)$$

$$Nt_{AC} = \underline{\underline{168\,783 \text{ Kč}}}$$

N_{tA}	-	náklady na strojní čas	[Kč]
N_{tB}	-	náklady na vedlejší čas	[Kč]
N_{tAC}	-	náklady na strojní a vedlejší časy	[Kč]
N_o	-	náklady na celou operaci	[Kč]

Tabulka č. 13 – porovnání nákladů

	Stávající technologie	Navržená technologie
N_{tA1}	127 920 Kč	112 320 Kč
N_{tB}	40 863 Kč	18 915 Kč
N_{tAC}	168 783 Kč	131 235 Kč
N_o	351 576 Kč	257 843 Kč
rozdíl	93 733 Kč	

Díky nové technologii se sníží náklady na hrubování o 93 733 Kč, jak je uvedené v tabulce č. 13.

Porovnání výrobních nákladů při hrubování boku zubu 0,2 mm na plochu uvádím v tabulce č. 14 a 15.

Tabulka č. 14 – porovnání výrobních časů

	Stávající technologie	Navržená technologie
t_A	51 min	29 min
t_{A1}	7 344 min	4 176 min
t_B	2 380 min	1 343 min
t_{AC}	9 724 min	5 519 min
rozdíl	4 205 min	

Použitím zrychlovací hlavy se při této operaci sníží časy na výrobu o 4 205 min, jak je uvedené v tabulce č. 14.

Tabulka č. 15 – porovnání nákladů

	Stávající technologie	Navržená technologie
$N_{t_{A1}}$	159 120 Kč	90 480 Kč
N_{t_B}	51 567 Kč	29 098 Kč
$N_{t_{AC}}$	210 687 Kč	119 578 Kč
N_o	444 431 Kč	248 357 Kč
rozdíl	196 074 Kč	

U opracování buku zubu 0,2 mm na plochu jsou ušetřeny výrobní náklady ve výši 196 074 Kč, jak je uvedené v tabulce č. 15.

U operace hrubování paty zubu na 0,2 mm na plochu porovnávám pracovní a výrobní náklady v tabulce č. 16 a 17.

Tabulka č. 16 – porovnání výrobních časů

	Stávající technologie	Navržená technologie
t_A	41 min	36 min
t_{A1}	5 904 min	5 184 min
t_B	1 008 min	873 min
t_{AC}	6 912 min	6 057 min
rozdíl	855 min	

Použitím nové technologie při hrubování paty zubu je úspora času 855 min, jak je patrné z tabulky č. 16.

Tabulka č. 17 – porovnání nákladů

	Stávající technologie	Navržená technologie
$N_{t_{A1}}$	127 920 Kč	112 320 Kč
N_{t_B}	21 840 Kč	18 915 Kč
$N_{t_{AC}}$	149 760 Kč	131 235 Kč
N_o	229 053 Kč	197 803 Kč
rozdíl	31 250 Kč	

Použitím zrychlovací hlavy je úspora výrobních nákladů na tuto operaci 31 250 Kč, (viz tabulka č. 17)

Při opracování paty zubu na výkresovou míru „podpíchnutí“ (odlehčení) je úspora času a výrobních nákladů stejná jako při hrubování na 0,2 mm na plochu. Tato operace je zohledněna v celkových úsporách.

Porovnání výrobních nákladů a času při odlehčení špice zubu jsou uvedeny v tabulce č. 18 a 19.

Tabulka č. 18 – porovnání výrobních časů

	Stávající technologie	Navržená technologie
t_A	19 min	9 min
t_{A1}	2 736 min	1 296 min
t_B	459 min	225 min
t_{AC}	3 195 min	1 521 min
rozdíl	1 674 min	

V operaci odlehčení špice zubu za použití zrychlovací hlavy je úspora času 1 674 min, jak je uvedené v tabulce č. 18.

Tabulka č. 19 – porovnání nákladů

	Stávající technologie	Navržená technologie
$N_{t_{A1}}$	59 280 Kč	28 080 Kč
N_{t_B}	9 945 Kč	4 875 Kč
$N_{t_{AC}}$	69 225 Kč	32 955 Kč
N_o	105 659 Kč	51 410 Kč
rozdíl	52 249 Kč	

Použitím nové technologie, je při této operaci ušetřeno 52 249 Kč.

Porovnáním všech těchto operací je patrné, že mnou navržená technologie přinese snížení nákladů na hrubovací operace. Frézování zrychlovací hlavou je progresivnější.

5. Závěr

Vzhledem k rostoucí výrobě ozubených kol, bylo cílem této práce prostudovat stávající technologii výroby zubu ozubeného kola a zaměřit se na vypracování nové technologie s cílem snížení výrobních časů a nákladů.

Výsledkem práce je navržená nová technologie hrubování, která spočívá v zakoupení zrychlovací hlavy typu FX300-04-5310B. Návratnost počáteční investice do zrychlovací hlavy je zohledněna při výrobě 3ks ozubení popsaného typu. Zrychlovací hlava byla vyzkoušena a testována v provozních podmínkách. Provedená zkouška prokázala, že úspora času je velmi znatelná. Díky mnou navržené technologii za použití zrychlovací hlavy dosáhneme řezných parametrů, uváděných výrobcem.

Z hlediska rostoucího objemu zakázek tohoto typu bylo nutno pořídit zrychlovací hlavu, ta byla několikrát vyzkoušena v provozních podmínkách. Zavedením nové technologie se urychlila výroba.

Z nově navržené technologie vyplývají následující závěry:

- úspora času při hrubování jednoho zubu je 12,2%
- snížení nákladů na výrobu
- dosažení relativní úspory režie a mezd

Úspory na 1 kusu ozubeného kola:

- výrobní čas - 9 323 min
- výrobní náklady - 404 556 Kč

Nová technologie využívá stávající strojní zařízení výrobního podniku a je technologií progresivnější. Z dosažených výsledků je patrný reálný předpoklad zvýšení objemu výroby ozubených kol, uspokojení poptávky a udržení si konkurenčního postavení na evropském a světovém trhu.

6. Seznam použité literatury

- [1] KLEPAL, Václav. *Výroba ozubených kol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 400 s.
- [2] STROJIMPORT LTD. *W200 HB-NC: Škoda Horizontal milling and boring machines*. Praha: Škoda Plzeň, 1982.
- [3] KOŘÍNEK, Lubomír. *Inovace technologie opracování středních kusů klikových hřídelí*. Ostrava, 1995, 65 s. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Oldřich Bilík, CSc.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [5] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [6] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [7] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina: 2007, s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [8] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábání, I. Časť – Obráběné materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o Žilina, 2006, s. 205. ISBN 80-968954-2-7.
- [9] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábání, II. Časť – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o Žilina, 2006, s. 193. ISBN 80-968954-2-7.
- [10] STEPHENSON, David A. a John S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Marcel Dekker, 1997, s. 898. ISBN 08-247-9579-2.

- [11] *Vítkovice a. s.* [online]. 2009 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z:
<http://www.vitkovice.com/9/cs/node/130>
- [12] *Vítkovice Heavy Machinery a. s.* [online]. 2009 [cit. 2014-01-18]. Dostupné z:
<http://www.vitkovicemachinery.com/default/site/18/lang/cs>
- [13] NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ. In: *Iscar* [online]. 2014 [cit. 2014-02-11]. Dostupné z:
<http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3105997&fnum=3141&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M>
- [14] Hitachi Tool Engineering Europe GmbH. In: *Hitachi* [online]. 2009 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.hitachitool-eu.com/download/brochures/view/abpf-s.pdf>
- [15] PIBOMULTI. *Pibomulti: catalogs* [online]. 2007 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z:
<http://pibomulti-na.com/catalogs/Pibomulti-Catalog.pdf>
- [16] Technologie II. 1. díl. In: *Skripta* [online]. - [cit. 2014-04-05]. Dostupné z:
http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1díl.pdf
- [17] ČEP, Robert. Technologie II. Přednáška č. 4. In: *Přednášky z předmětu Technologie obrábění* [online]. 2005 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z:
http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/tech_II
- [18] PROCES OBRÁBĚNÍ KOVU – VLIV GEOMETRIE. In: *PŘÍRUČKA PRO TECHNOLOGY* [online]. 2012 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z:
http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20%20cyklus/8/Seco_09.pdf

7. Seznam příloh

Příloha č. 1	-	Zjednodušený náčrt ozubeného kola
Příloha č. 2	-	Tabulka pro výrobu ozubeného kola
Příloha č. 3	-	Technický výkres zrychlovací hlavy
Příloha č. 4	-	Technický výkres upínací příruby